



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL NORESTE DE LA AMAZONÍA PERUANA

UN CASO DE ESTUDIO DE LOS DISTRITOS
DE JEPELACIO, JUAN GUERRA, SORITOR
Y CUÑUMBUQUI (SAN MARTÍN) Y DE
RODRÍGUEZ DE MENDOZA (AMAZONAS)

Marta Suber^a, Luis Campos^b

^a CIFOR-ICRAF

^b Consultor

CHONTAPAMPA
PARCELA : A93
UM : 2A
VERTICE : N
FECHA : 26/09/22



AgroFor



Esta publicación ha sido desarrollada en el marco de los proyectos "Propuesta de prototipo y monitoreo de sistemas silvopastoriles para el mejoramiento de la economía de los pequeños productores" y AgroFor, Consorcio para la Promoción de Cesiones en Uso para Sistemas Agroforestales.

SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL NORESTE DE LA AMAZONÍA PERUANA

UN CASO DE ESTUDIO DE LOS DISTRITOS
DE JEPELACIO, JUAN GUERRA, SORITOR
Y CUÑUMBUQUI (SAN MARTÍN) Y DE
RODRÍGUEZ DE MENDOZA (AMAZONAS)

Cita sugerida: Suber M. y Campos L. 2024. *Sistemas silvopastoriles en la Amazonía peruana: un caso de estudio de los distritos de Jepelacio, Juan Guerra, Soritor, Cuñumbuqui (San Martín) y de Rodríguez de Mendoza (Amazonas)*. Lima, Perú: CIFOR-ICRAF

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
ÁREA DE INTERÉS	5
ESTRATIFICACIÓN DE LAS ÁREAS	6
TAMAÑO DE LA MUESTRA POR ESTRATO	7
RESULTADOS	9
Validación de las muestras	13
DISCUSIÓN	14
Las coberturas y uso de la tierra condicionan la distribución y número de las muestras	15
Los arreglos lineales dominan por abundancia	15
Calidad de los resultados	16
RECOMENDACIONES TÉCNICAS	17
CONCLUSIONES	18
REFERENCIAS	19

INTRODUCCIÓN

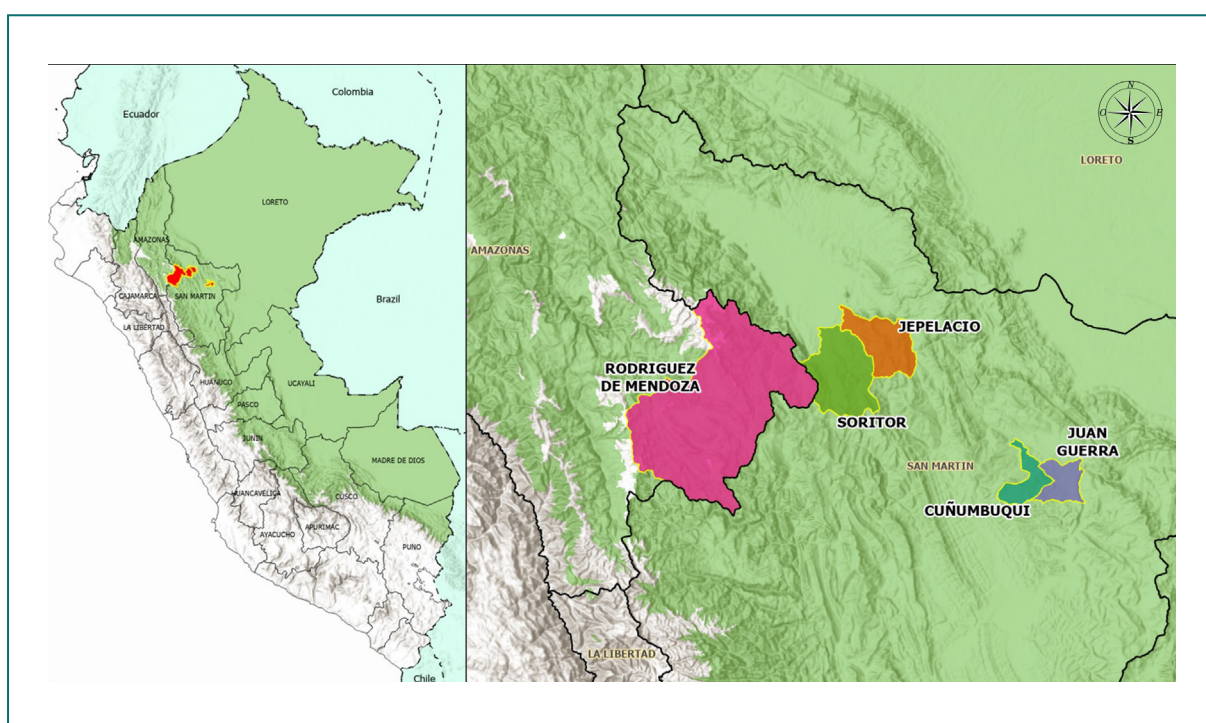
El presente caso de estudio implementa el protocolo metodológico basado en Collect Earth Online para la recopilación de información cualitativa sobre sistemas silvopastoriles en la Amazonía peruana, el cual ha sido desarrollado por CIFOR-ICRAF en los proyectos "Propuesta de prototipo y monitoreo de sistemas silvopastoriles para el mejoramiento de la economía de los pequeños productores" y AgroFor, Consorcio para la Promoción de Cesiones en Uso para Sistemas Agroforestales, en colaboración con el Grupo Técnico NDC de Ganadería del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). La finalidad del caso estudio es determinar si el protocolo es robusto y si su implementación provee información de calidad que responda a la necesidad de mejora de la información de base utilizada en las estimaciones del potencial de mitigación de las medidas NDC (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional), en las cuales los sistemas silvopastoriles entran en juego como elemento de secuestro de carbono.

ÁREA DE INTERÉS

El estudio incluye cinco áreas de interés en los departamentos de Amazonas y San Martín, en Perú, (Figura 1) objeto de las intervenciones de los proyectos promotores de la iniciativa.

En Amazonas se toma como referencia el límite de la provincia de Rodríguez de Mendoza; en San Martín se consideran los distritos de Cuñumbuqui, Jepelacio, Juan Guerra y Soritor.

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ÁREAS DE INTERÉS EN LOS DEPARTAMENTOS DE AMAZONAS Y SAN MARTÍN



Fuente: elaboración a partir del "Mapa Nacional de Superficie Agrícola del Perú" de MIDAGRI al 2018.

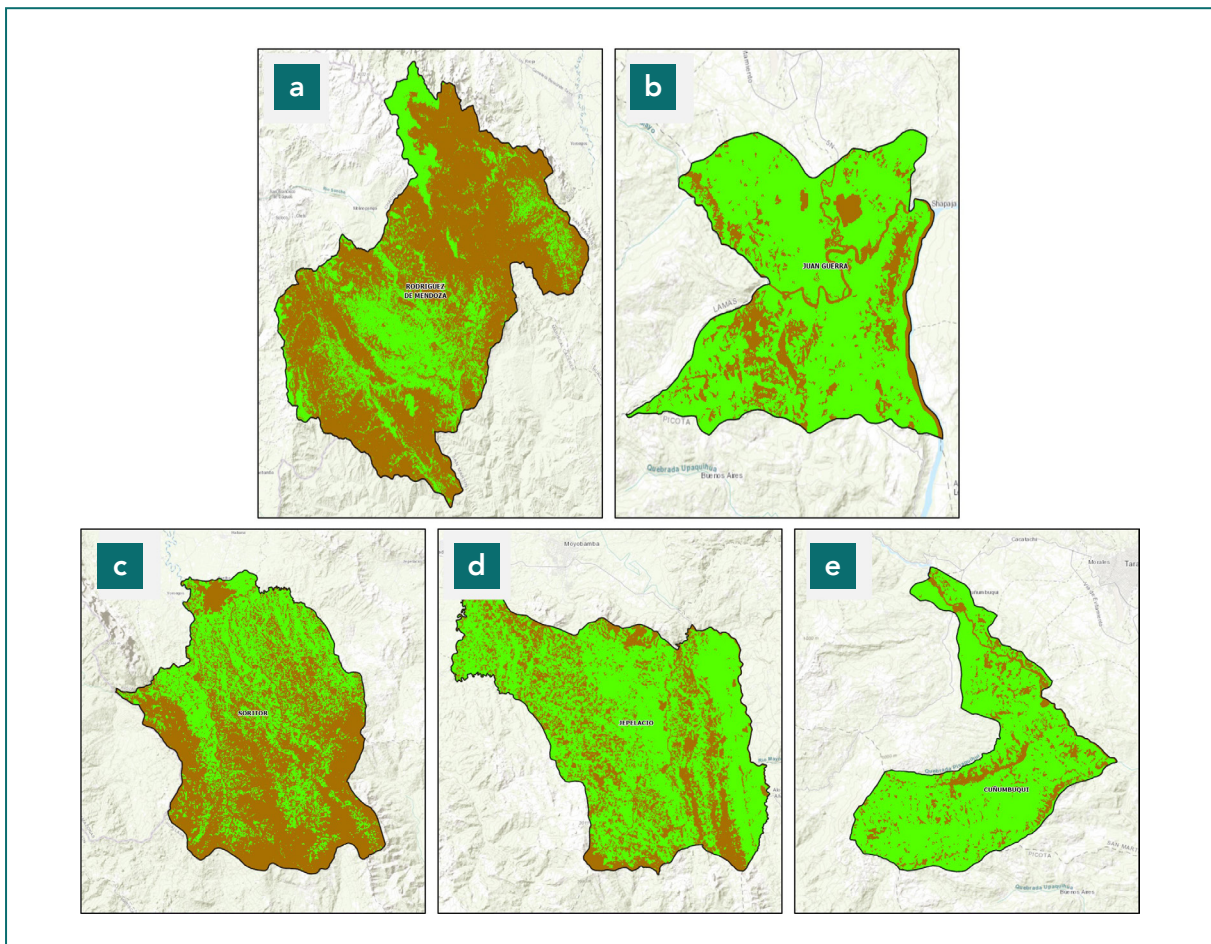
Estas áreas de interés se enmarcan en las ecozonas de selva alta accesible y selva alta de difícil acceso. Asimismo —y tomando como base la información de la superficie agrícola al 2018 de MIDAGRI— se establece un total de 136 299 ha de superficie agrícola la misma que se distribuye en Cuñumbuqui (11%), Jepelacio (23%), Juan Guerra (11%), Rodríguez de Mendoza (31%) y Soritor (24%).

ESTRATIFICACIÓN DE LAS ÁREAS

Cada estrato representa un tipo específico y agrupado de clases de uso de la tierra dentro de una unidad de evaluación o interpretación. Un estrato debe considerar homogeneidad de características y componentes asociados a la dinámica de uso de la tierra. En el presente trabajo se determinó la estratificación de las áreas de interés en función a la información espacial existente y del planteamiento conceptual de los sistemas silvopastoriles (SSP) (Figura 2).

Así, se consideran dos estratos: áreas con mayor probabilidad de establecer e identificar un SSP y áreas con menor probabilidad de establecer e identificar un SSP.

FIGURA 2. ESTRATIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE INTERÉS EN FUNCIÓN DE LOS ESTRATOS DE MAYOR Y MENOR PROBABILIDAD



Nota: a) Rodríguez de Mendoza, b) Juan Guerra, c) Soritor, d) Jepelacio, e) Cuñumbuqui.

Es clave calcular la extensión de los estratos por áreas de interés, lo cual es determinante al momento de generar las muestras en función de las proporciones y el coeficiente de variación. Este cálculo se determina a partir de la cantidad de píxeles¹ por estrato y área de interés, respectivamente.

Debemos señalar que la transformación del nivel digital (píxel) de los estratos a unidades de superficie varía dependiendo de la resolución espacial determinada para la estratificación. En el presente trabajo se utilizó información espacial de 30 metros de resolución, por tanto, el cálculo de la superficie se realiza a partir del factor de conversión "0,09" para tener como resultado una superficie en hectáreas (Tabla 1).

TABLA 1. ESTRATIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE INTERÉS EN FUNCIÓN DE CADA ESTRATO

Distrito	Mayor probabilidad (p)		Menor probabilidad (np)	
	# píxeles	ha	# píxeles	ha
Cuñumbuqui	169 105	15 220	33 086	2978
Jepelacio	290 736	26 166	138 381	12 454
Juan Guerra	167 640	15 088	45 811	4123
Soritor	257 943	23 215	390 570	35 151
Rodríguez de Mendoza	903 667	81 330	1 968 583	177 173

TAMAÑO DE LA MUESTRA POR ESTRATO

Establecida la superficie para cada área de interés y por estrato se procede a estimar el tamaño de la muestra. Para ello, se calcula la proporción para cada estrato, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación (Tabla 2). La proporcionalidad del área es importante pues a través de ella se evidencia la distribución de cada estrato y la extensión del área sobre la cual se distribuirán las parcelas de interpretación.

1 Píxel es la expresión mínima del territorio representada en una imagen. En nuestro caso, los estratos están representados en formato ráster y, con ello, la cuantificación de la superficie está expresada en función del conteo de píxeles.

TABLA 2. CÁLCULO DE PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA POR ESTRATO

Distrito	Estrato	# píxeles	P _i	SD _i	CV _i
Cuñumbuqui	(p)	169 105	0,8364	0,3699	44%
	(np)	33 086	0,1636	0,3699	226%
Jepelacio	(p)	290 736	0,677	0,4674	69%
	(np)	138 381	0,3225	0,4674	145%
Juan Guerra	(p)	167 640	0,7854	0,4106	52%
	(np)	45 811	0,2146	0,4106	191%
Soritor	(p)	257 943	0,3977	0,4894	123%
	(np)	390 570	0,6023	0,4894	81%
Rodríguez de Mendoza	(p)	90 3667	0,3146	0,4644	148%
	(np)	1 968 583	0,6854	0,4644	68%

Nota: SSP (p): probabilidad de SSP, SSP (np): no probabilidad de SSP, P_i: proporción; SD_i, desviación estándar, CV_i: coeficiente de variación.

Con los parámetros necesarios detallados en la Tabla 2, y utilizando un intervalo de confianza del 10%, se estima un tamaño específico de muestra por cada estrato para cada área de interés. La estimación de la muestra se resume en la Tabla 3, con la variabilidad dada por la extensión de cada área de interés y por cada estrato definido.

Los resultados cumplen con la condición de la teoría estadística de contar con un mínimo de 50 muestras para cada clase objetivo (bosque y no bosque) (Congalton y Green 2009 en Boca y Rodríguez 2012).

TABLA 3. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS POR ESTRATO PARA CADA ÁREA DE INTERÉS

Áreas de interés	# muestras SSP		Total
	(p)	(np)	
Cuñumbuqui	74	1962	2036
Jepelacio	183	808	991
Juan Guerra	104	1401	1505
Soritor	582	252	834
Rodríguez de Mendoza	837	178	1015
Total	1780	4601	6381

Nota: (p): probabilidad de SSP, (np): no probabilidad de SSP.

RESULTADOS

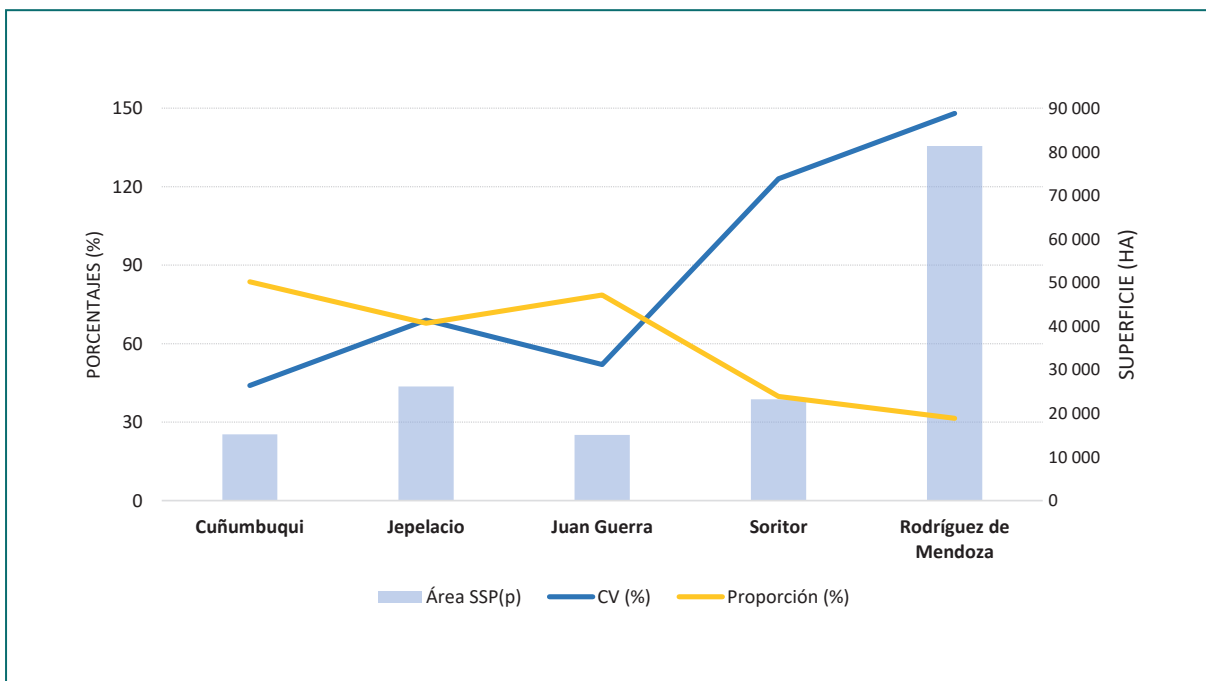
En la Tabla 4 se muestran los resultados de la evaluación para las áreas de interés dentro del estrato objetivo, es decir, el área del sistema silvopastoril con mayor probabilidad.

TABLA 4. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS Y SUBMUESTRAS PARA CADA ÁREA DE INTERÉS

Distritos	Superficie SSP (p)	Cantidad de muestras	Cantidad de submuestras	Proporción	CV
	ha	#	#	%	%
Cuñumbuqui	15 220	74	2664	84	44
Jepelacio	26 166	183	6588	68	69
Juan Guerra	15 088	104	3744	79	52
Soritor	23 215	582	20 952	40	123
Rodríguez de Mendoza	81 330	837	30 132	31	148
Total	161 019	1780	64 080		

Cada área de interés tiene un número específico de muestras y la variabilidad muestral se relaciona con la proporción de superficie y el coeficiente de variación de cada estrato, inversamente proporcionales (Figura 3).

FIGURA 3. RELACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL ESTRATO OBJETIVO, LA PROPORCIÓN Y EL COEFICIENTE DE VARIACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS



En todos los distritos, excepto en Rodríguez de Mendoza, las muestras sin presencia arbórea se ubican generalmente en áreas extensas (p. ej. superficies >10 ha) e irregulares, y en relieve ondulado. En Cuñumbuqui, Jepelacio y Juan Guerra las muestras con presencia arbórea se encuentran en áreas con relieves planos y geometrías mayormente regulares. En Soritor y Rodríguez de Mendoza hallamos esas muestras con árboles, tanto en las áreas con relieves planos y geometrías mayormente regulares, como en áreas con relieves escarpados y geometrías irregulares.

FIGURA 4. INTERPRETACIÓN DE LAS MUESTRAS



Nota: a) praderas sin árboles en relieve ondulado y de geometría irregular, b) praderas con árboles con arreglo lineal en relieve plano y de geometría regular, c) praderas con árboles en relieve escarpado y geometría irregular.

La interpretación de las muestras varía de acuerdo con el área de interés. En los distritos de Juan Guerra y Jepelacio se evidencia la presencia de cultivos de arroz, que aprovechan la cercanía a los ríos Inchoche y Mayo. En los otros tres distritos hay una mayor presencia de cultivos frecuentemente asociada a prácticas agroforestales. No es posible discernir el tipo de cultivo por las imágenes disponibles.

FIGURA 5. REPRESENTACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS



Nota: a) tierras de cultivo de arroz, b) tierras de cultivo bajo sistemas agroforestales.

Los sistemas silvopastoriles con arreglos lineales representan cerca de la mitad de los sistemas silvopastoriles en todos los distritos, con una única excepción en Jepelacio donde solo llegan al 36% (Tabla 6).

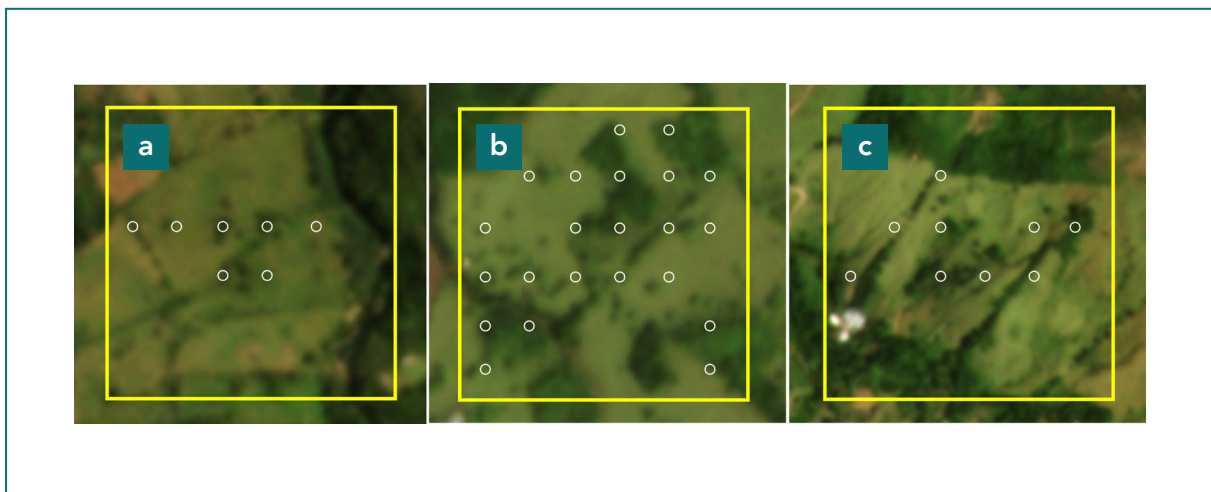
El segundo arreglo más frecuente posee árboles dispersos, que en todos los casos representa un 25% aproximadamente, salvo en Jepelacio donde solo representa el 19% de los sistemas silvopastoriles.

En cuanto a los arreglos con árboles agrupados, son de igual importancia que los arreglos con árboles dispersos en Cuñumbuqui y Rodríguez de Mendoza, donde no existen casos de arreglos mixtos (combinación de 2 o 3 arreglos sobre una misma unidad evaluada), en tanto que en Jepelacio, Juan Guerra y Soritor solo representan alrededor del 15%.

En el arreglo de árboles dispersos, la clase de cobertura inferior al 10% es la más frecuente en todos los distritos; mientras que en el arreglo con árboles agrupados la clase de cobertura entre 10 y 30% es la más representada (Tabla 7). El distrito de Jepelacio destaca de los demás en lo anteriormente mencionado por no tener distinción en la representatividad de ambas clases de cobertura en los arreglos agrupados.

El arreglo mixto solo está presente en Jepelacio, Juan Guerra y Soritor en 32%, 12% y 12%, respectivamente, y la casi totalidad de ellos pertenece a la clase de cobertura arbórea entre 10 y 30%.

FIGURA 6. REPRESENTACIÓN DE LA INTERPRETACIÓN DE MUESTRAS CON ARREGLOS MIXTOS



Nota: a) lineal – disperso, b) agrupado – disperso, c) lineal – agrupado.

TABLA 5. DISTRIBUCIÓN DE LOS DIFERENTES USOS DE LA TIERRA EN CADA DISTRITO

	Cuñumbuquí			Jepelacio			Juan Guerra			Soritor			Rodríguez de Mendoza			Promedio
	#	ha	%d	#	ha	%d	#	ha	%d	#	ha	%d	#	ha	%d	%p
UTCUTS	74			182			102			572			822			
Praderas	66	12 115	89	131	18 731	72	65	9430	64	515	20 542	90	667	64 811	80	79
Sin árboles	20	2674	22	22	3146	17	31	4497	48	170	6781	33	202	19 628	30	30
Con árboles	46	9461	78	109	15 585	83	34	4932	52	345	13 761	67	465	45 183	70	70
Agricultura	8	1645	11	47	6720	26	29	4207	28	50	1994	9	113	10 980	14	18
Asentamientos	-			2	286	1	1	145	1	5	199	1	57	5539	7	3
Otras tierras	-			2	286	1	7	1016	1	2	80	0	-			1

Notas:

#: número de muestras, ha: superficie en hectáreas, %d: proporción; %p: promedio de %d.

UTCUTS: uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura.

TABLA 6. DISTRIBUCIÓN DE LOS DIFERENTES ARREGLOS DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES EN CADA DISTRITO

Arreglo	Cuñumbuquí			Jepelacio			Juan Guerra			Soritor			Rodríguez de Mendoza			Promedio
	#	ha	%d	#	ha	%d	#	ha	%d	#	ha	%d	#	Ha	%d	%p
Lineal	23	4730	50	39	5576	36	16	2321	47	162	6462	47	233	22 640	50	46
Disperso	11	2262	24	21	3003	19	9	1306	26	91	3630	26	111	10 786	26	24
Agrupado	12	2468	26	14	2002	17	5	725	15	51	2034	15	121	11 757	24	19
Mixto	0	-	-	35	5004	32	4	580	12	41	1635	12	0	-	-	11
Total	46	9461		109	15 585		34	4932		243	13 761		465	45 183		

Nota: #: número de muestras, ha: superficie en hectáreas, %d: proporción; %p: promedio de %d.

TABLA 7. SUPERFICIE, PROPORCIÓN POR ARREGLO, PROPORCIÓN SOBRE EL TOTAL DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES Y PROMEDIO ENTRE DISTRITOS DE LOS PORCENTAJES DE COBERTURA DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES CON ARREGLO DISPERSO O AGRUPADO

Arreglo	Cobertura	Cuñumbuquí			Jepelacio			Juan Guerra			Soritor			Rodríguez de Mendoza			Promedio
	%	ha	% a	% t	ha	% a	% t	ha	% a	% t	ha	% a	% t	ha	% a	% t	%
Disperso	<10	1234	55	13	2717	90	17	1161	89	24	3191	88	23	5927	55	13	75
	≥10, <30	1028	45	11	286	10	2	145	11	3	439	12	3	4858	45	11	25
Agrupado	<10	206	8	2	1000,9	50	6	290	40	6	798	39	6	972	8	2	29
	≥10, <30	2262	92	24	1000,9	50	6	435	60	9	1237	61	9	10 786	92	24	71
Mixto	<10	-	-	-	4719	94	30	580	100	12	1635	100	12	-	-	-	98
	≥10, <30	-	-	-	286	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6

Nota: ha: superficie en hectáreas, % a: porcentaje de cobertura de árboles del arreglo considerado, % t: porcentaje de cobertura de árboles en relación con todos los sistemas silvopastoriles identificados; %: promedio de % t.

Validación de las muestras

A partir de la organización del trabajo en campo y luego de haber implementado el procedimiento se procedió a la verificación de cada una de las muestras. Se generaron 46 muestras aleatorias en total que presentan un arreglo específico o combinación de arreglos (lineal, disperso, agrupado). Se descartaron 4 por inaccesibilidad y analizaron las 40 restantes.

Para dar transparencia a la verificación de dichas muestras esta actividad la realizó un especialista en campo distinto al intérprete. La colecta de información fue hecha con tres herramientas tecnológicas: Locus Map, Collect Mobile y Timestamp Camera, con las cuales se generó un repositorio fotográfico de 40 muestras con 4 fotos para cada muestra indicando los cuatro puntos cardinales (norte, sur, este y oeste), además de una base de datos con los atributos obtenidos de la aplicación del cuestionario de validación.

Esta información permitió construir la matriz de error en la cual se detalla la concordancia representada en la precisión global y las inconsistencias tanto para el intérprete como para el usuario, representadas en los errores de omisión y comisión respectivamente.

TABLA 8. EXACTITUD Y ERROR DE OMISIÓN DEL INTÉRPRETE SEGÚN ARREGLO

Tipo de arreglo	Exactitud de interpretación	Errores de omisión
Agrupado	75,0%	25,0%
Disperso	71,4%	28,6%
Lineal	84,0%	16,0%

Los resultados indican la existencia de muestras que no han tenido una similitud con lo verificado y observado en campo. Un ejemplo es el caso de dos muestras con arreglo lineal en gabinete, pero en la visita a campo se observó un arreglo agrupado. Asimismo, una muestra interpretada como cobertura de arreglo lineal, pero en campo se observó que el arreglo era disperso.

TABLA 9. EXACTITUD Y ERROR DE COMISIÓN DEL USUARIO SEGÚN ARREGLO

Tipo de arreglo	Exactitud del usuario	Errores de comisión
Agrupado	66,7%	33,3%
Disperso	71,4%	28,6%
Lineal	87,5%	12,5%

Al igual que los resultados obtenidos para la interpretación, se determina la exactitud y errores de comisión para el usuario. Detallando esto último, se interpretaron tres muestras observadas en campo categorizadas con arreglo disperso y lineal con un arreglo agrupado. Dos muestras en campo con arreglo lineal se clasificaron en gabinete con un arreglo disperso.

2 Niveles de concordancia: i) sin concordancia: <0, ii) insignificante: 0-0,2, iii) discreta: 0,2-0,4, iv) moderada: 0,4-0,6, v) sustancial: 0,6-0,8, vi) casi perfecta: 0,8-1,0.

Por último, y respecto a las concordancias entre intérprete y usuario se determina que 32 de las 40 muestras tienen concordancia en los arreglos identificados (agrupado 6, disperso 5 y lineal 21). Eso se traduce en una precisión global de 80%, con la cual se estima un índice de Kappa² de 0,65 posicionando los resultados en un rango sustancial.

TABLA 10. MATRIZ DE ERROR DEL TOTAL DE MUESTRAS EVALUADAS SEGÚN TIPOS DE ARREGLOS

		Usuario			
		Agrupado	Disperso	Lineal	Total interpretación
Intérprete	Agrupado	6	1	2	9
	Disperso	0	5	2	7
	Lineal	2	1	21	24
	Total usuario	8	7	25	32

DISCUSIÓN

Collect Earth Online (CEO) ha demostrado ser una plataforma flexible, robusta, completa y versátil para identificar cualitativamente los componentes asociados a los SSP y para una estimación del área con mayor probabilidad de SSP. La validación de la interpretación demuestra concordancia sustancial entre lo observado en gabinete y lo observado en campo, basada en la calidad del formulario de CEO y en una adecuada asignación en la imagen.

Este resultado contrasta con el estudio de Tennesson et al. 2018 para Colombia y Vietnam en el cual CEO no obtiene la suficiente precisión para la identificación de sistemas agroforestales y silvopastoriles, el cual se basó en componentes como la identificación de cultivos forrajeros e infraestructura para la alimentación de los animales. La necesidad de utilizar imágenes de muy alta resolución para la identificación hace decaer la factibilidad del proceso. Este caso de estudio ha demostrado cómo la disposición de los árboles en el espacio (arreglo) permite la identificación espacial de los sistemas silvopastoriles con éxito satisfactorio.

Para obtener resultados de calidad es necesario asegurar dos factores:

1. La resolución espacial de las imágenes disponibles determina la unidad mínima de mapeo. Esa resolución es la que permite identificar las áreas con mayor probabilidad de SSP en función de las características de la imagen (color, forma, textura, otras).
2. La experiencia y el conocimiento del área de interés de parte de los profesionales a cargo de la implementación del protocolo metodológico tanto en gabinete como en campo.

En general, se ha observado una mayoría significativa de praderas con árboles (>65%) en todas las áreas analizadas.

Las imágenes satelitales de alta calidad como las de PlanetScope (resolución de 4,77 metros por píxel) se han mostrado aptas para discriminar unidades o conjunto de árboles que conforman un sistema silvopastoril. Aun así, una mayor definición en la evaluación de los componentes dentro del territorio ha sido necesaria para asegurar una confianza del 100% entre el intérprete y las características a interpretar. Esto ha sido posible combinando las imágenes PlanetScope con las de las plataformas MapBox y Google Earth de mayor resolución (con variaciones por debajo de 1 metro), también gratuitas, que han complementado la interpretación haciéndola legible y flexible para el usuario.

Este caso de estudio demuestra que hay una brecha muy amplia entre el supuesto manejado por el país de que las praderas no cuentan con biomasa arbórea asociada y la realidad. Esta evidencia corrige y actualiza la información de base manejada en los procesos climáticos y de diseño de políticas e instrumentos a nivel nacional y regional, como la medida NDC del sector agricultura "Implementación de técnicas de manejo de pastos a través de sistemas silvopastoriles para la reducción de GEI en la selva". Esta evidencia genera una oportunidad de mejora significativa de la robustez de las estimaciones del potencial de mitigación de la medida, cuya urgencia se sostiene en la abundancia de estos sistemas en el paisaje analizado. Las herramientas y las imágenes satelitales existentes a la fecha conforman la base para dicha revisión, sin suponer un costo para el país gracias a su disponibilidad gratuita.

Las coberturas y uso de la tierra condicionan la distribución y número de las muestras

La proporción del estrato evaluado frente a la superficie total del área de estudio determina el número de muestras y submuestras de cada área analizada. Este número puede variar sensiblemente dependiendo de:

- La proporción del estrato evaluado frente la superficie total del área evaluada. Ese es el caso de Jepelacio y Soritor donde, si bien tienen similar superficie total, el número de muestras es de 183 y 582, respectivamente.
- La configuración espacial de las coberturas y usos de la tierra dentro del área analizada. A mayor fragmentación y heterogeneidad, menor número de muestras rebajando así la posibilidad de validar el estrato evaluado respecto a la clase objetivo. Esto se ha evidenciado en dos casos opuestos:
 - En Jepelacio (83%) la zona agrícola está concentrada cerca del casco urbano, separada del área de uso exclusivo para praderas. Esta disposición permite posicionar las muestras para lograr una mejor representatividad del estrato evaluado.
 - Juan Guerra (52%) presenta una distribución heterogénea y fragmentada de los usos de la tierra donde se encuentran purmas y praderas degradadas. La fragmentación y presencia de múltiples usos de la tierra con árboles reduce el número de muestras por la dificultad de tener una distribución continua en el espacio.

Hasta que no se complete el análisis de gabinete, no se puede determinar el diseño muestral de la validación de campo, y por ende los recursos requeridos.

El cumplimiento del requerimiento de contar con al menos 50 muestras en la muestra inicial no garantiza obtener suficientes muestras con superficie con cobertura arbórea que satisfagan esa condición. Ese es el caso de Cuñumbuqui donde solo 40 de 76 muestras son seleccionadas para validar una superficie con cobertura arbórea dentro de las 9461 hectáreas. Si bien parece una muestra insuficiente, la precisión global de 80% indica una coherencia significativa entre lo interpretado en Collect Earth Online y lo observado en campo.

Los arreglos lineales dominan por abundancia

La categorización de los arreglos espaciales de los sistemas silvopastoriles inicialmente considerada ha demostrado ser insuficiente en el caso de las áreas analizadas. Ha sido necesario agregar la categoría "Mixto" para incluir los casos en los cuales se presentan más arreglos simultáneamente en la misma unidad. Esto demuestra la necesidad de mantener cierta flexibilidad en la categorización durante la etapa de interpretación con CEO, para poder incluir ajustes de ser necesario.

El arreglo lineal es el más frecuente en todas las áreas, con representatividad cercana al 50% en todos los casos, salvo en Jepelacio donde solo llega al 36%. Aquí se observa una mayor representatividad del arreglo mixto (32%), a diferencia de los demás distritos donde o no se encuentra (Cuñumbuqui y Rodríguez de Mendoza) o es minoritario (12%). Los arreglos mixtos evidencian prácticas de tumba, roza y quema que avanzan de manera no homogénea en

el paisaje afectando la extensión de los recursos forestales y dejando parches de bosque y otros árboles dispersos en las áreas deforestadas. En Jepelacio la pérdida de la evaluación de los últimos 12 años (2011 al 2021) de cobertura boscosa muestra un promedio anual de 197 ha deforestadas. Un análisis de esa dinámica de deforestación en mayor detalle es necesario para establecer una vinculación directa con la práctica anteriormente expuesta.

Los arreglos dispersos o agrupados se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. Los que presentan una cobertura de árboles inferior o igual al 10%.
2. Los que presentan una cobertura de árboles entre el 10 y 30%.

Jepelacio, Juan Guerra y Soritor presentan una predominancia de arreglos dispersos del primer tipo, mientras que Cuñumbuqui y Rodríguez de Mendoza presentan una predominancia de arreglos agrupados del segundo tipo. Esto lleva a pensar en una posible diferencia en el origen de estos sistemas silvopastoriles en Cuñumbuqui y Rodríguez de Mendoza, relacionada a procesos paulatinos de degradación del bosque. Solo un análisis multitemporal podría permitir aclarar la naturaleza de dichos procesos.

Calidad de los resultados

El proceso de interpretación utilizando Collect Earth Online con imágenes de alta resolución de Planet Scope ha demostrado una precisión global del 80%, confirmada también por la alta consistencia entre lo interpretado y lo validado en campo.

Mejorar ese valor es posible si es que se consideran varios aspectos clave como:

- Generar una capa cartográfica de cobertura arbórea a escala de trabajo (5 metros de resolución espacial).
- Utilizar una capa de la superficie agrícola actualizada con el fin de enfocar los esfuerzos de la interpretación en las áreas con praderas y la determinación de sus componentes (p. ej. el tipo de arreglo).

NOTA

Se ha identificado una inconsistencia espacial generada por la resolución más amplia de la cartografía nacional (30 m) respecto a la de Planet Scope (4,77 m). Esto conlleva una omisión de usos de la tierra y un descuento del número de muestras interpretadas en usos que no son la clase objetivo. Reducir los errores asociados a la estimación y, posteriormente, a los errores de omisión y comisión requiere un número mayor de muestras (Bey et al. 2016).

En la identificación de los arreglos, tanto por interpretación como por validación en campo, el arreglo con precisión mayor es el arreglo lineal —como era de esperarse por la facilidad de identificación en el espacio—. Con referencia a los arreglos dispersos y agrupados, la precisión obtenida es inferior. Esto se relaciona a la calidad de la imagen levantada en la validación de campo que no ha permitido en todos los casos una buena comparación entre la interpretación y la realidad, lo que ha demostrado que se debe considerar robustecer dos aspectos en la etapa de validación:

- El incremento de las muestras para aminorar los errores. Esto es posible aumentando el número de puntos en la malla muestral.
- Robustecer la adquisición de información en campo, posiblemente mediante una guía de buenas prácticas para asegurar que se contemplen y registren correctamente las características de un SSP, observando el paisaje y/o contexto, y no solo el punto muestral a validar.

RECOMENDACIONES TÉCNICAS

Este caso de estudio ha permitido no solamente mejorar la información existente sobre los sistemas silvopastoriles en las áreas evaluadas, sino también identificar algunas recomendaciones técnicas, para mejorar la calidad del trabajo, que pueden ser agrupadas en tres temas.

Malla muestral:

- Estructurar una malla sistemática nacional o subnacional en función al área de tierras agrícolas y praderas para estandarizar el distanciamiento y el total de las muestras permanentes requeridas para el monitoreo, revisión y verificación de los datos de la actividad.
- En caso de no poder cumplir con el punto anterior, evaluar la utilización efectiva del Marco Maestro Múltiple en la fase de verificación y/o validación de los resultados obtenidos con la plataforma CEO. Esta coordinación debe darse de manera participativa con la Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (DGSEP) del MIDAGRI.
- Incrementar los puntos de la malla muestral con respecto a los usados en este análisis. Esto conlleva a un aumento de la intensidad del análisis y, por ende, a un incremento de los recursos requeridos para esta actividad.

Mejora en la información:

- Incorporar una capa actualizada de tierras agrícolas con el fin de consolidar la capa "Praderas". Esto permite optimizar el establecimiento de las muestras en la clase objetivo y aminorar los errores de interpretación.
- Aplicar técnicas como segmentación y/o métricas de patrones espaciales con el fin de determinar los árboles fuera del bosque.
- Si el número de muestras remanentes llegara a ser inferior al número mínimo requerido (N=50), entonces es necesario incrementar el número de muestras, lo que implica incrementar la superficie mínima evaluada por cada muestra. Una consideración importante es el impacto de dicha acción sobre el requerimiento de los recursos y tiempo para completar el análisis.
- Introducir un intérprete distinto de quien haya realizado la interpretación en gabinete en el proceso de verificación en campo permite reducir las incertidumbres asociadas a la interpretación de los datos de gabinete.

Análisis complementarios:

- Explorar la dinámica de expansión ganadera a partir de un análisis multitemporal de los últimos 10 años, por lo menos.
- Pueden establecerse mejoras al incluir observaciones sobre los índices de vegetación, parámetros específicos del componente arbóreo mediante patrones morfológicos y también estableciendo parámetros de contexto basados en los descriptores locales (información de campo).

- Considerar un ajuste de la interpretación basado en la información colectada en campo para reducir los errores de omisión y mejorar la precisión global. Esta operación alarga la duración del análisis y por eso habrá que considerar mayores recursos.
- Evaluar las imágenes de sobrevuelos de drones generadas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) o por la unidad de Geomática del Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR) que evalúa las Cesiones en uso para Sistemas Agroforestales (CUSAF) con el fin de obtener un mayor detalle de los componentes de un área catalogada con probabilidad de SSP.

CONCLUSIONES

El protocolo metodológico de identificación de áreas con probabilidad de sistemas silvopastoriles produce resultados de calidad satisfactoria para cualquier reporte, a condición de emplear buenas prácticas respecto al diseño de la muestra, y a la medición y la verificación de los datos. Si es aplicado de manera uniforme en la Amazonía peruana podría mejorar la clasificación y demostrar la relevancia de los diferentes arreglos de sistemas silvopastoriles amazónicos a nivel nacional. Este sería el primer paso para una cuantificación coherente y completa de la extensión de los arreglos.

Los resultados obtenidos a partir de este estudio identifican a los sistemas silvopastoriles como contribuidores clave, pero todavía no aprovechados, para múltiples agendas —como las agendas climática y de biodiversidad—. La planificación y gestión territorial, y la gestión sectorial de las metas climáticas regionales y del país pueden beneficiarse ampliamente de esta evidencia.

En paralelo, es necesario complementar esta información con los respectivos factores de emisión. Las dos clases de información, combinadas entre sí, están en la base de la cuantificación del secuestro de carbono para informar los procesos climáticos nacionales, tales como las NDC “Implementación de técnicas de manejo de pastos a través de sistemas silvopastoriles para la reducción de GEI en la selva” y el afinamiento de las categorías de reporte de gases de efecto invernadero de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU) en las cuales sería posible la introducción de un nivel mayor de desglose en la categoría “Praderas”, tanto en los inventarios regionales como en el nacional.

REFERENCIAS

Bey A, Sánchez-Paus Díaz A, Maniatis D, Marchi G, Mollicone D, Ricci S, Bastin JF, Moore R, Federici S, Rezende M, et al. Collect Earth: Land use and land cover assessment through augmented visual interpretation. *Remote Sens.* 8, 807 (2016).

Congalton RG y Green K. 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices*. Florida: Taylor & Francis Group.

Daniel J, Tenneson K, Suber M, Mulia R, Van Trinh P, Arango J, Rosenstock TS. 2018. *Open-and crowd-sourced MRV for agroforestry?: Preliminary results and lessons learned from a pilot study using Collect Earth to identify agroforestry on multiple land uses in Viet Nam and Colombia*. CCAFS Info Note. Cali: CCAFS.

Taylor & Francis Group. Boca Raton en Boca T y Rodríguez G. 2012. Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos. *Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar*.



AgroFor

